
Revista Brasileira de Climatologia

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA DA PRECIPITAÇÃO EM PORTO VELHO-RO NO PERÍODO DE 1998 - 2013SANTOS NETO, Luiz Alves dos – luiz.santos@sipam.gov.brSistema de Proteção da Amazônia – Centro Regional de Porto Velho (SIPAM-CRPV)
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA) / Fundação
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)MANIESI, Vanderlei – vanmaniesi@hotmail.comPrograma de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA) / Fundação
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)SILVA, Marcelo José Gama da – marcelo.gama@sipam.gov.br

Sistema de Proteção da Amazônia – Centro Regional de Porto Velho (SIPAM-CRPV)

QUERINO, Carlos Alexandre Santos – carlos.querino@sipam.gov.br

Sistema de Proteção da Amazônia – Centro Regional de Porto Velho (SIPAM-CRPV)

LUCAS, Edmundo Wallace Monteiro – edmundo.lucas@inmet.gov.br

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

BRAGA, Alan Pantoja – alan.braga@inmet.gov.br

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

ATAÍDE, Kléber Renato da Paixão – kleber.ataide@inmet.gov.br

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade diurna média das precipitações em Porto Velho – RO entre 1998 e 2013. Foram utilizados dados de precipitação horária de duas estações meteorológicas próximas, cerca de 200 metros uma da outra, instalados dentro do perímetro urbano de Porto Velho. Foi calculado a frequência relativa para cada hora do dia para todos os eventos de precipitação com volume superior a 0,2 mm.h⁻¹ e também para volumes superiores a 10 mm.h⁻¹, sendo estes considerados neste artigo como “eventos intensos”. Com as frequências relativas horárias de todo o período estudado trabalhadas, pode-se fazer a distribuição horária média dos dados de forma anual e também sazonal, separado por estações do ano. A frequência relativa anual de todos os eventos precipitantes apresentou maiores frequências às 15:00 horas (horário local) com um segundo máximo às 05:00 horas, enquanto que dos eventos intensos as maiores frequências se concentravam apenas à tarde, principalmente às 16:00 horas. Na frequência relativa sazonal de todos os eventos, o período da tarde foi preferencial em quase todas as estações, com a exceção do Verão, onde as chuvas ocorrem preferencialmente no fim da madrugada. Na frequência relativa sazonal das precipitações intensas, todas as estações do ano apresentam maiores frequências à tarde. Com os resultados alcançados nesta pesquisa, espera-se que os mesmos sejam de grande valia na caracterização da precipitação em Porto Velho.

Palavras-chave: Frequência Relativa. Precipitação Horária. Porto Velho.

HOURLY PRECIPITATION DISTRIBUTION IN PORTO VELHO-RO - 1998-2013

ABSTRACT. The objective of this work is to analyze the variability of the average rainfall in Porto Velho – RO between 1998 and 2013. Data of hourly rainfall from two nearby weather stations, about 200 meters apart, installed within the city of Porto Velho. The relative frequency for each hour of the day for all precipitation events with volume exceeding 0.2 mm and also for volumes higher than 10 mm, which are considered in this article as “intense precipitation events”, was calculated. Time with the relative frequencies of the studied period worked, can make the average hourly data distribution and also annual seasonal fashion, separated by the seasons. The annual relative frequency of all precipitating events had higher frequencies 15.00hrs (local time) with a second maximum of 05:00 hours, while intense events of the highest frequencies were concentrated only in the afternoon, especially at 16:00 hours. In seasonal relative frequency of all events, the afternoon was preferred in almost all seasons, except summer, where rains occur preferentially at the end of the morning. In seasonal relative frequency of intense rainfall, all seasons have higher frequencies afternoon. With the results obtained in this research, it is expected that they will be of great value in the characterization of the precipitation events in the city of Porto Velho.

Keywords: Relative Frequency. Hourly Precipitation. Porto Velho.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos principais parâmetros meteorológicos estudados, isto porque ela possui um enorme peso na caracterização do clima de uma determinada região. Ter o conhecimento da sua variabilidade sazonal é importante, pois ajuda na tomada de decisão, e proteção, nos diversos ramos das atividades socioeconômicas (como por exemplo, na agricultura, nos transportes, no comércio, no planejamento urbano, etc.) e até no cotidiano da população local.

Na Amazônia, a precipitação foi amplamente pesquisada ao longo das últimas 3 décadas (SALATI *et al.*, 1979; MOLION, 1987, 1993; FIGUEROA e NOBRE, 1990; MARENGO, 1995; FISCH *et al.*, 1996). Mesmo assim, por ser um fenômeno de ampla variabilidade espacial e temporal, associado a sistemas meteorológicos de formações extremamente complexas e também por relacionar-se à dinâmica de ocupação humana na região, ainda há muito a se estudar a respeito da pluviosidade na Amazônia.

Grande parte da bacia amazônica é caracterizada por índices pluviométricos elevados, com volume médio de 2300 mm/ano, alcançando até 3500 mm/ano em algumas regiões (FISCH *et al.*, 1996). Salienta-se que grande parte desse volume médio anual é oriundo de chuvas convectivas, típicas de regiões tropicais como a Amazônia.

De acordo com Molion (1987) os mecanismos meteorológicos que provocam estas chuvas convectivas na região Amazônica são agrupados em 3 tipos: convecção diurna, resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; linhas de instabilidades, originadas na costa N-NE do litoral da Amazônia e; aglomerados convectivos de meso e larga-escala, associados à penetração de sistemas frontais na região S/SE do Brasil e que interagem com a região Amazônica. Além destes sistemas, há também as chuvas provocadas por efeito de brisa fluvial (MOLION e DALLAROSA, 1990). Todos estes sistemas meteorológicos são os principais responsáveis pelas ocorrências de precipitação pluviométrica no Estado de Rondônia.

Estudos a respeito da variabilidade temporal da precipitação na cidade de Porto Velho são escassos. Para Bezerra *et al.* (2010), a escassez de estudos ocorre devido à falta de uma rede de estações climatológicas de superfície que abranja toda a área territorial do município, que conta apenas com uma estação oficial registrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ainda de acordo com os autores, um outro agravante é a série histórica de registros meteorológicos na cidade ser recente (de 1945 até os dias atuais), sendo que o ideal seria uma base de dados com mais de 100 anos para chegar a conclusões mais consistentes na verificação de tendências cíclicas climáticas.

Pesquisas mais aprofundadas sobre a precipitação em Rondônia se concentraram nas campanhas do "Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera da Amazônia – Projeto LBA" que realizaram campanhas experimentais por apenas dois ou três meses no centro do Estado e em diferentes estações do ano. O intuito principal do LBA foi analisar de forma integrada e detalhada a interação biosfera-atmosfera que influenciam o clima local e, em particular, a formação de nuvens e das chuvas (SILVA DIAS *et al.*, 2005).

Em relação a precipitação, os resultados das campanhas experimentais do Projeto LBA destacam-se nos trabalhos de Hanaoka (2004) e Fisch *et al.* (2007). Os autores analisaram o comportamento das chuvas convectivas em Rondônia e observaram que os eventos possuem, em muitos casos, um raio de abrangência de até 2 km. TOTA *et al.* (2000), observaram que os eventos de precipitação ocorrem principalmente no período da tarde, quando é provocada por processos convectivos locais, e entre o fim da madrugada e as primeiras horas da manhã, quando ela é provocada por sistemas convectivos de meso e larga escala. Além disso, quando se compara o total de chuva ocorrido nas áreas de floresta e nas de pastagem, observa-se um volume de chuva cerca de 28% maior na floresta do que em áreas de pasto (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 1998). Marengo *et al.* (2004) ao estudar a variabilidade diurna da precipitação em Rondônia durante o experimento TRMM-LBA verificaram que o ciclo diário está associado

aos regimes de vento, de leste e de oeste, em baixos níveis da atmosfera, sendo as precipitações do regime de oeste vinculadas a ocorrência de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Jatos de Baixos Níveis (JBN), enquanto que as precipitações do regime de leste estão vinculadas a convecção local e a sistemas meteorológicos que propagam desde a foz do rio Amazonas até Rondônia como, por exemplo, as Linhas de Instabilidade (LI).

Nechete Barros (1998) estudaram a variabilidade diurna da precipitação na capital de Rondônia usando 12 anos de dados do aeroporto local. Eles verificaram que durante todo o ano ocorrem precipitações na cidade, mas com predominâncias de horários em determinadas épocas do ano. Na época chuvosa ocorrem dois picos máximos diários de precipitação: um no início da manhã e outro à tarde. Já na época de transição e na estação seca há uma predominância de ocorrência de picos no período da tarde. Assim, a região de Porto Velho caracteriza-se pela ocorrência de um modelo de precipitação horário do tipo misto, com modelos de precipitação do tipo continental (chuvas à tarde e/ou início da noite) e modelo marítimo (chuvas durante a noite e madrugada) (ASNANI, 1993).

Santos Neto *et al.* (2012) também estudaram a variabilidade horária anual e sazonal da precipitação na capital de Rondônia, porém, para um período mais curto, de Março de 2011 a Fevereiro de 2012. Os autores verificaram que, na análise de 12 meses, as maiores frequências de todos os eventos de precipitação ocorreram durante a madrugada (entre 05:40 e 05:50 horas) com um segundo máximo no final da tarde (17:00 horas). Já as precipitações intensas foram mais frequentes durante a tarde (15:40 horas). Ainda no mesmo trabalho, foi observada a variação sazonal. Notou-se que as maiores frequências relativas de todos os eventos de precipitação durante o outono, o inverno e a primavera foram à tarde, e apresentaram um retardamento no horário de ocorrência à medida que se avança no ano, ou seja, os eventos acontecem no começo da tarde durante o outono, no meio da tarde no inverno e entre o fim da tarde e o começo da noite na primavera. Apenas no Verão as maiores frequências horárias ocorreram durante a madrugada.

Muito já se estudou a respeito de como a chuva intensa se distribui ao longo de sua ocorrência, ou seja, sua distribuição horária, e apesar da vasta literatura existente, são raras as pesquisas feitas (SENTELHAS *et al.*, 1998). Para Cruciani (1986) *apud* Sentelhas *et al.* (1998), conhecer o comportamento da distribuição horária das precipitações mais intensas de uma determinada região torna mais realista a previsão hidrológica em projetos de engenharia, permitindo quantificar com maior precisão o escoamento superficial.

Questões relacionadas ao impacto ambiental decorrente de chuvas intensas tem sido motivo de preocupação para técnicos e administradores ligados ao planejamento e a ocupação do espaço geográfico, seja ele rural ou urbano (MELLO *et al.*, 1994). Porém, infelizmente, este tipo de atenção não é dado pelos gestores municipais e, com isso, os problemas se disseminam, tanto nas áreas urbanas quanto nas rurais, uma vez que há a carência de fiscalização durante a execução dessas obras por conta das autoridades do setor de infraestrutura da cidade. Então, conhecer a variabilidade espacial e temporal das precipitações intensas, especialmente em áreas urbanas, é imprescindível, pois os resultados são amplamente utilizados no planejamento de drenagem, na previsão de alagamentos, entre outros, minimizando assim os danos socioeconômicos relacionados a inundações e efeitos erosivos (SENTELHAS *et al.*, 1998).

Portanto, com o intuito de contribuir com o planejamento de drenagem urbana da cidade, além de acrescentar conhecimento sobre o ciclo diário da chuva na região, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da distribuição horária da precipitação como um todo, bem como, também, os eventos de precipitação intensa, na cidade de Porto Velho – RO.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Porto Velho é a capital do Estado de Rondônia. Possui a seguinte localização geográfica: 08° 46' 00" de Latitude Sul e 63° 54' 30" de Longitude Oeste, com elevação média de 64 metros acima do nível médio do mar (figura 1). É a principal rota de acesso rodoviário para as capitais

do Acre (Rio Branco) e do Amazonas (Manaus). Atualmente é o maior município rondoniense e a 3º maior capital da Região Norte do Brasil com uma população de 428.527 habitantes, perdendo apenas para Manaus e Belém, que são atualmente os principais polos populacionais da Amazônia (IBGE, 2010).

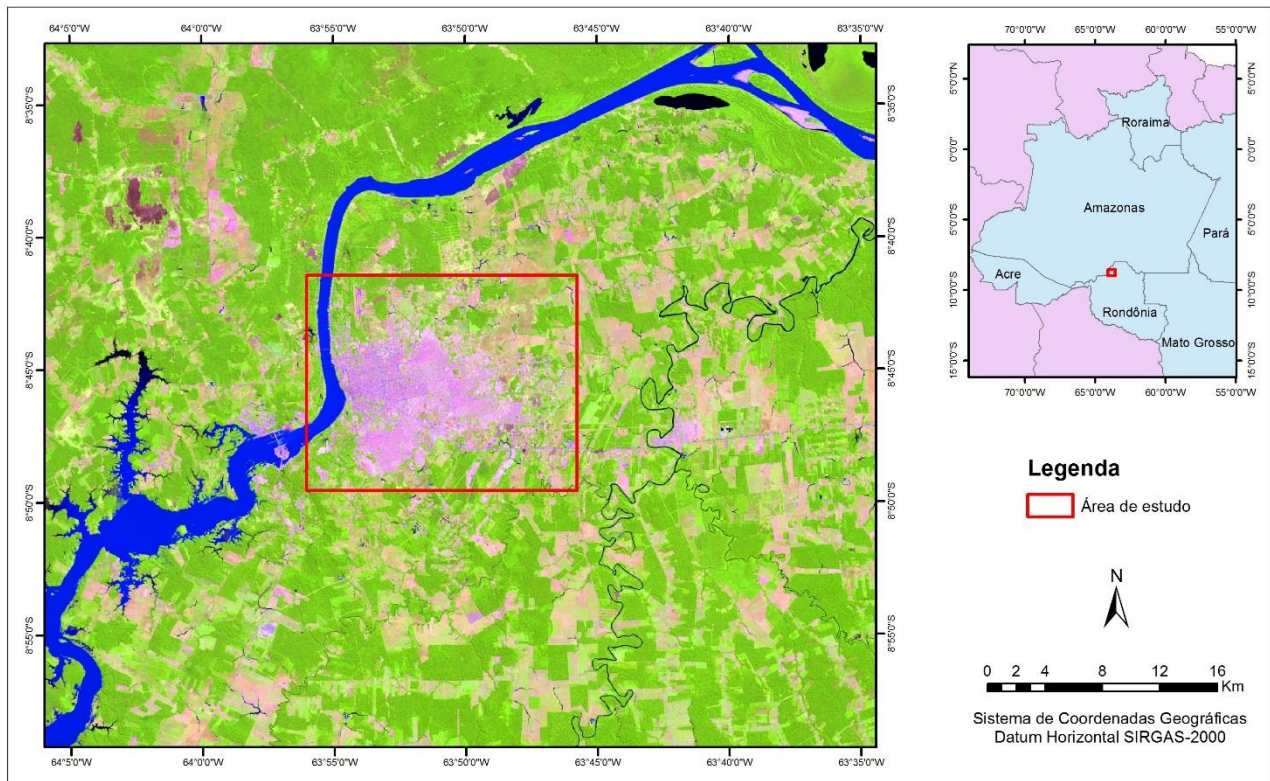


Figura 1. Mapa de localização de Porto Velho – RO.

2.2. Climatologia da Região

De acordo com Silva (2010) a cidade de Porto Velho possui, segundo a classificação climática de Köppen, um clima do tipo "Aw", ou seja, tropical chuvoso com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18°C (megatérmico), um período seco bem definido durante o inverno no Hemisfério Sul e índices pluviométricos inferiores a 50 mm/mês. Segundo INMET (2009) a temperatura média anual da cidade de Porto Velho é de 25,6°C, a umidade relativa média anual é de 86,1% e a precipitação média anual é de 2255,4 mm.

Os períodos sazonais foram definidos de acordo com o volume médio mensal das normais climatológicas do INMET de 1961 a 1990. O trimestre mais chuvoso em Porto Velho é entre Dezembro, Janeiro e Fevereiro (956 mm) e o trimestre mais seco compreende os meses de Junho, Julho e Agosto (110,2 mm), deixando o trimestre de Março, Abril e Maio (651,5 mm) e o de Setembro, Outubro e Novembro (537,8 mm) como sendo "trimestres de transição" (Figura 2). Como cada um destes trimestres coincide com os meses de início das estações do ano, definiu-se então, para este trabalho, que a análise sazonal será compreendida pelo trimestre de duração de cada estação do ano, ou seja, Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); Outono (Março, Abril e Maio); Inverno (Junho, Julho e Agosto) e Primavera (Setembro, Outubro e Novembro).

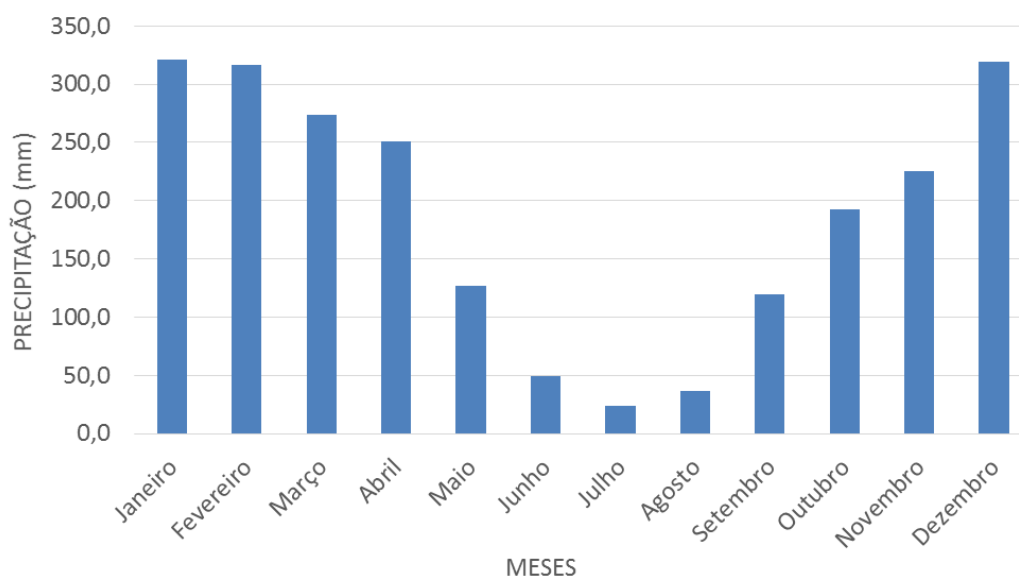


Figura 2. Precipitação média mensal (mm) na cidade de Porto Velho – RO no período de 1961 a 1990. Adaptado de INMET (2009).

Como o Verão é uma estação interanual, ou seja, engloba meses de dois anos consecutivos e como neste trabalho os ciclos anuais estão “fechados” de Janeiro a Dezembro, os verões de 1998 (Dezembro de 1997, Janeiro e Fevereiro de 1998) e de 2014 (Dezembro de 2013, Janeiro e Fevereiro de 2014) não foram calculados. É importante ressaltar que esta definição da sazonalidade aplicada neste trabalho em estações do ano é apenas para facilitar a identificação dos trimestres estudados e não implica dizer que Porto Velho sofre efeitos da transição entre as estações. No ponto de vista astronômico, a capital de Rondônia passa sim por cada estação do ano, já que a definição de cada estação está na posição em que o planeta Terra se encontra no seu movimento de translação ao redor do Sol. Já no ponto de vista climatológico, Porto Velho não sente os efeitos da mudança entre as estações, uma vez que a cidade se encontra dentro da região equatorial, área onde a incidência solar é sempre intensa e pouco variável ao longo do ano, o que proporciona apenas “duas estações” que são regionalmente conhecidas como “verão amazônico” (época da seca) e “inverno amazônico” (época das chuvas).

2.3. Dados

Para a realização deste estudo foram utilizados totais horários de precipitação coletados no período entre Janeiro de 1998 e Dezembro de 2013, registrados em duas estações meteorológicas automáticas, também conhecidas como Plataforma de Coleta de Dados (PCD). As PCD's estão instaladas nas dependências da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia (EMBRAPA / CPAF-RO), no município de Porto Velho (Figura 3). Uma PCD, pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e possui a seguinte localização geográfica: 08° 47' 37" de Latitude Sul e 063° 50' 45" de Longitude Oeste. Ressalta-se que esta PCD é da marca Vaisalae e está equipada com pluviômetro de modelo QMR 102, cuja a resolução é de 0,2 mm. A segunda PCD pertence à Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM) e está localizada à 08° 47' 43" de Latitude Sul e 063° 50' 48" de Longitude Oeste. Esta PCD é da marca Campbell e está equipada com pluviômetro modelo TB4 Hidrological, e a resolução amostral também é de 0,2 mm. A resolução do pluviômetro representa o volume de chuva necessário para fazer a balança do instrumento deslocar-se e, assim, fazer a contagem do volume de 0.2mm de precipitação para cada basculada (HANAOKA, 2004).

Utilizou-se dados de duas PCD's por dois motivos; O primeiro motivo era para não perder nenhum evento de precipitação, uma vez que toda PCD é suscetível a manutenção periódica

(troca de bateria, limpeza do terreno e dos instrumentos, ninho de pássaros e insetos sobre os instrumentos, etc), e por isso, é de se esperar que cada estação pudesse apresentar descontinuidades nos dados. O segundo motivo foi para unir o tempo de registro de uma estação mais antiga (SEDAM) com a estação mais nova (INMET), dando assim maior consistência aos resultados. Os dados oriundos da PCD da SEDAM possui registros horários de Janeiro de 1998 até os dias atuais. Já a PCD do INMET possui informação horária de Julho de 2007 até o presente momento.

De acordo com Hanaoka (2004) e Fisch *et al.* (2007), em Rondônia, o mesmo evento de chuva convectiva pode ser registrado por vários pluviômetros que estejam distantes até 2 km de raio do centro da precipitação. Conforme pode ser notado na figura 3, as PCD's envolvidas neste estudo distam 210 metros uma da outra, e nos permite afirmar que o evento de chuva registrado em uma PCD, será o mesmo que a outra PCD irá registrar, independente da intensidade do evento precipitante.

2.4. Análise dos dados

Para uma melhor interpretação dos dados, foi feito inicialmente a transformação do horário de coleta das informações de precipitação, de horário UTC (hora padrão das PCD's) para UTC-4 (horário local), a fim de que os resultados apresentados neste estudo sejam visualizados na hora de Porto Velho. Em seguida, foi feita a somatória horária de todos os eventos de chuva durante todos os dias do período estudado. Depois, foi feito o cálculo de frequência relativa dos eventos de precipitação aplicando a relação, proposta por SPIEGEL (1972), entre o número de casos de precipitação de cada hora com o número total de casos em 24 horas (Equação 1).

$$FR(\%) = \frac{F(h)}{F(24)} \times 100 \quad (1)$$

onde FR é a frequência relativa da precipitação em termos percentuais, F(h) é o número de eventos ocorridos em um intervalo de uma hora e F(24) é o número de eventos ocorridos durante as 24 horas do dia. Posteriormente, obteve-se a variabilidade horária média anual da precipitação. A mesma metodologia também foi aplicada para se obter a variabilidade horária média sazonal da precipitação.

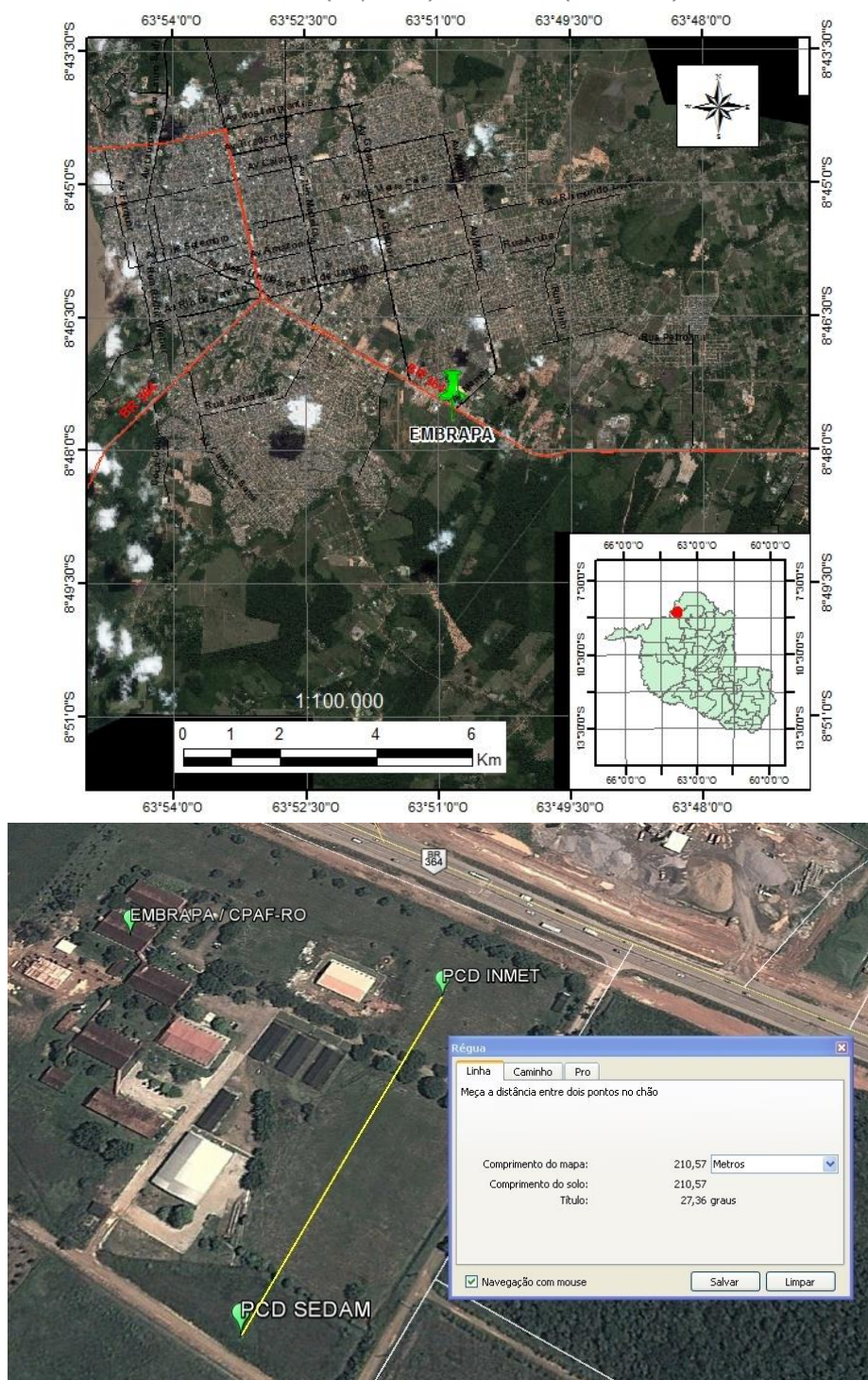


Figura 3. Mapa de localização da sede da EMBRAPA (acima) e das PCD's dentro da sede da EMBRAPA assim como a distância entre as estações (abaixo) na cidade de Porto Velho – RO. (FONTE: Google Earth).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Distribuição Anual e Sazonal da Frequência Horária da Precipitação com Volume Horário Superior aos 0,2 mm

Ao analisar sazonalmente a frequência relativa de precipitação, nota-se que das 10579 horas de ocorrência de eventos de chuva acima de $0,2 \text{ mm.h}^{-1}$, 3123 horas ocorreram durante o

Outono (29,2%), 587 horas durante o Inverno (5,5%), 2321 horas na Primavera (21%) e 4548 horas ocorreram durante o Verão (44,3%).

A frequência relativa dos eventos que ocorreram durante cada estação do ano está disposta na figura 4, sendo (a) outono, (b) inverno, (c) primavera e (d) verão. O outono em Porto Velho é conhecido como período de transição entre a época chuvosa e a época seca (NECHET & BARROS, 1998). Nota-se que neste período a distribuição horária da precipitação apresenta um comportamento muito semelhante à distribuição horária anual, com picos elevados durante a tarde (frequência máxima às 15:00 horas) e outros picos secundários durante a madrugada (frequência máxima às 05:00 horas), conforme é apresentado na figura 4a. Esta semelhança se dá pelo fato do período ser de transição. Nesta época, a convecção tropical na bacia amazônica desloca-se lentamente para a América Central neste período (HOREL *et al.*, 1989), favorecendo durante esta estação a ocorrência dos mesmos sistemas meteorológicos precipitantes do verão (que provocam chuva durante a madrugada) e também do inverno (que provocam chuva durante a tarde).

O Inverno austral em Porto Velho é localmente conhecido como “verão amazônico”, devido às altas temperaturas e aos baixos índices pluviométricos e de umidade que são observados nesta época do ano na região. Nota-se na figura 4b uma grande predominância de frequências horárias de chuva durante a tarde, principalmente no meio do período (entre as 15 e as 17:00 horas) com frequências relativas entre 7 e 10% e que somando a frequência apenas destas 3 horas totaliza 25,6% de todos os eventos que caem nesta época do ano. As ocorrências secundárias estão distribuídas ao longo dos demais períodos do dia, com valores que não ultrapassam os 4%. Apesar do período seco, induzido pelo deslocamento do ramo descendente da Célula de Hadley sobre a Amazônia devido a máxima convecção tropical deslocar-se para a América Central neste período (HOREL *et al.*, 1989; FISCH *et al.*, 1996), o escoamento em baixos níveis da atmosfera (entre 925 e 700 hPa) oriundo do Oceano Atlântico favorece o transporte de umidade na região central da Amazônia durante a estação seca (VITORINO *et al.*, 2006), garantindo assim condições necessárias para convecção local durante a tarde. Isto explica o motivo dessa disparidade existente entre as precipitações que ocorrem à tarde com os demais períodos do dia nesta época do ano.

A Primavera austral em Porto Velho caracteriza-se por ser o segundo período de transição do ano, (estação seca para chuvosa). Observa-se na figura 4c uma grande concentração de eventos de chuva entre as 14:00 horas e as 21:00 horas. Nestas 8 horas do dia concentram-se quase 50% de todos os eventos que caem ao longo do dia nesta estação do ano, com uma predominância máxima por volta das 15:00 horas e um máximo secundário às 17:00 horas. Por ser um período de transição, o comportamento do ciclo diário da precipitação na primavera apresenta uma certa semelhança com o ciclo diário do outono, porém com máximas frequências mais elevadas à tarde/noite do que no outro equinócio. Isto se dá pelo fato da primavera ser o período de grande concentração de fumaça derivada da queima de biomassa na Amazônia, alterando completamente o processo de formação de nuvens (ARTAXO *et al.*, 2009) e retardando o início da precipitação em comparação a uma atmosfera não poluída (ANDREAE *et al.*, 2004).

Por fim temos o Verão austral em Porto Velho, onde ocorrem os maiores índices pluviométricos do ano e que, por conta disso, é localmente denominado de “inverno amazônico”. Nesta estação, verificaram-se dois períodos predominantes de chuva horária conforme mostra a figura 4d. O primeiro, e o maior pico no gráfico, ocorre entre a madrugada e as primeiras horas da manhã, com pico máximo às 05:00 horas (5,8%). O segundo período predominante vai das 11:00 horas até as 17:00 horas, com um máximo de frequências ocorrendo às 16:00 horas (4,6%). Este comportamento é um reflexo dos regimes de vento de oeste e de leste em baixos níveis da atmosfera nesta época do ano, na qual os regimes de oeste estão associados a eventos de ZCAS e também de JBN, enquanto que os regimes de leste associados à convecção local e LI (RICKENBACH *et al.*, 2002, 2004; MARENGO *et al.*, 2004). Este resultado difere do encontrado por Tota *et al.* (2000) durante o experimento TRMM-LBA, que engloba esta estação. Em seu estudo, verificou-se que as maiores frequências ocorrem no período da tarde, com o pico de frequência às 15:00 horas (14,1%) e o segundo máximo ocorre durante a madrugada, com o pico de frequência às 05:00 horas (8,5%). Esta diferença nos resultados se

deve, provavelmente, pelo tempo de coleta de dados do experimento TRMM-LBA (apenas de janeiro a fevereiro de 1999) em comparação com o presente trabalho (média de 15 verões de dados sem interrupção) ou pela metodologia de chuva horária aplicada no estudo (a partir de $0,2 \text{ mm.h}^{-1}$ no presente trabalho e a partir de 1 mm.h^{-1} na referência citada).

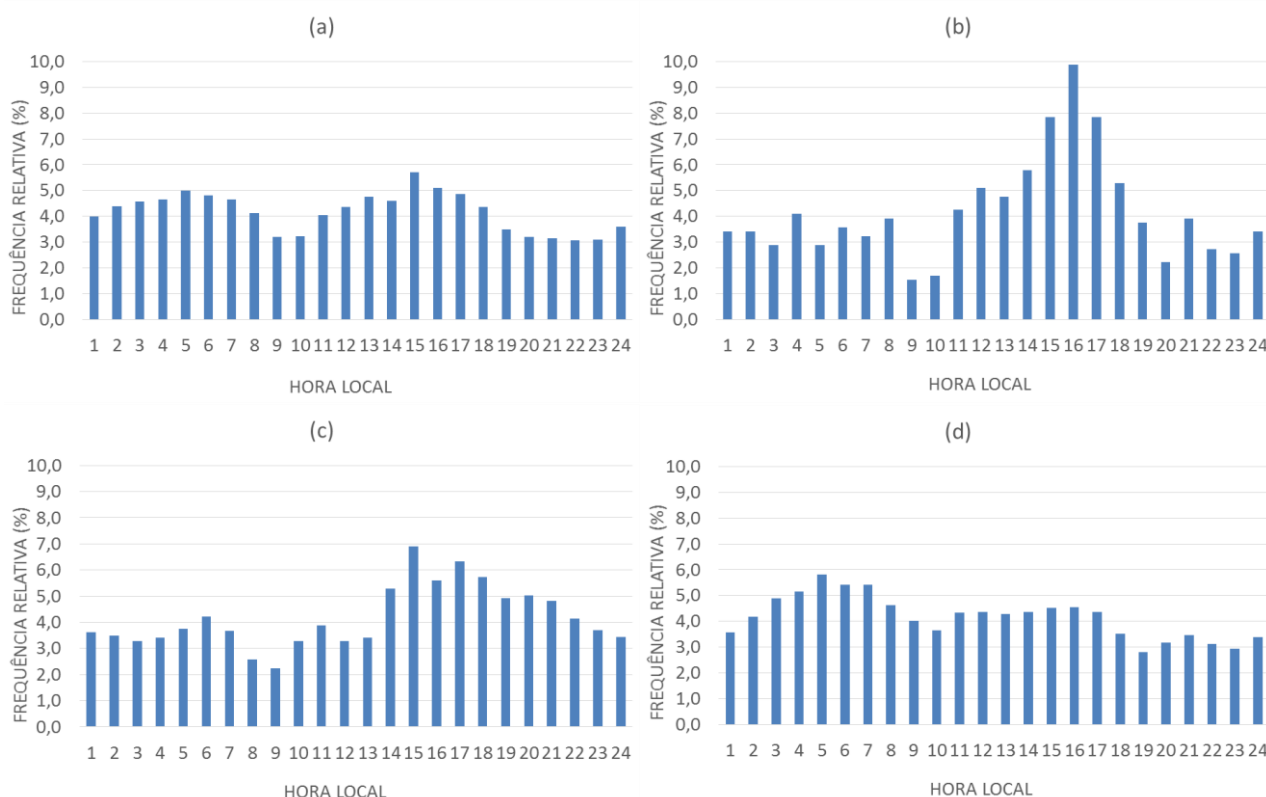


Figura 4. Frequência relativa horária (%) de todos os eventos de chuva ocorridos durante o Outono (a), Inverno (b), Primavera (c) e Verão (d) entre 1998 e 2013, em Porto Velho-RO.

Das 140256 horas que se passaram desde a 01:00 hora do dia 01/01/1998 até a 00:00 hora do dia 01/01/2014, foram registradas 10684 horas (7,6% do total de horas) com eventos de chuva superior a $0,2 \text{ mm.h}^{-1}$. Na figura 5, observa-se a distribuição da frequência relativa horária destes eventos durante todo o período de coleta. Nota-se que houve registro de precipitação em todos os horários do dia ao longo do período estudado, com dois picos de máximas frequências: um durante a madrugada (05:00 horas) e outro no período da tarde (15:00 horas), semelhante ao que foi encontrado por Nechet & Barros (1998). Como foi visto anteriormente no ciclo diário sazonal, quase todas as estações do ano apresentaram maiores frequências no período da tarde, com exceção do verão, onde as maiores frequências ocorrem durante a madrugada. Consequentemente, o gráfico da variação anual do ciclo diário da precipitação respondeu as variações sazonais, onde, a máxima frequência no período da tarde é uma resposta as ocorrências de chuva durante o outono, inverno e primavera, enquanto que o segundo máximo durante a madrugada é reflexo das precipitações do verão. Ainda assim, os resultados corroboram com os encontrados por Santos Neto *et al.* (2012).

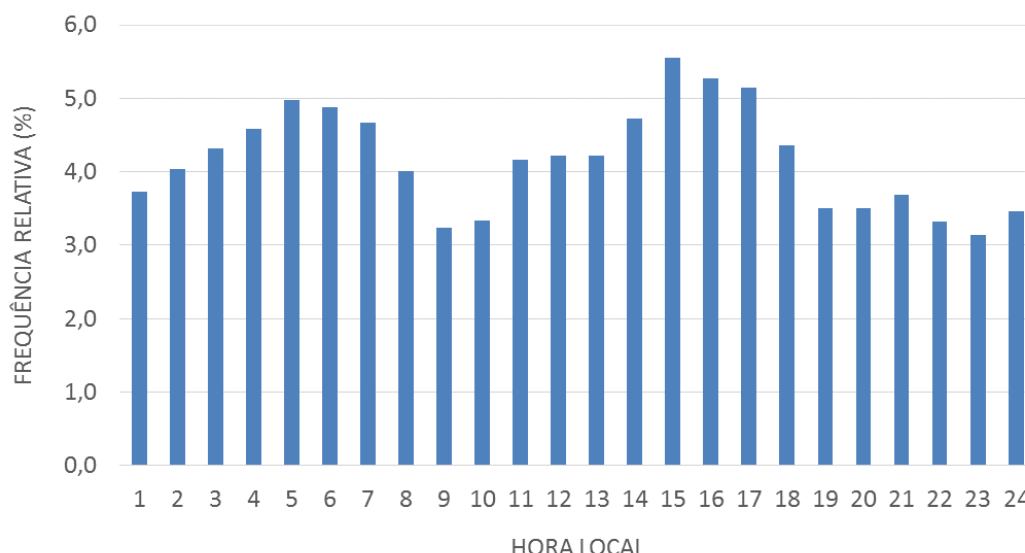


Figura 5. Distribuição anual da frequência relativa horária da precipitação (%), ocorrida entre 1998 e 2013, em Porto Velho-RO.

3.2. Distribuição Anual e Sazonal da Frequência Horária da Precipitação Com Volume Horário Superior a 10 mm

Assim como feito para eventos de fraca intensidade, também faz-se necessário analisar, anualmente e sazonalmente, os eventos intensos. Entre Janeiro de 1998 e Dezembro de 2013 ocorreram 947 horas (0,7% do total de horas de todo o período estudado) em que se observou um volume de chuva superior ou igual a 10 mm.h^{-1} (precipitação intensa). Quando faz-se a razão entre o total anual de horas em que se observou precipitação, de qualquer volume, e o total anual de horas em que houve precipitações intensas, contabiliza-se que, por ano, para cada 11 horas de chuva ocorre 1 hora de precipitação com volume superior a 10 mm.

Ao fazer este mesmo cálculo sazonalmente, temos que no outono ocorre 1 hora de evento intenso a cada 11 horas com precipitação de qualquer volume, no inverno 1 hora de evento intenso para cada 13 horas com precipitação e na primavera e verão ocorre uma média de proporção de 1 hora de evento intenso para cada 12 horas com precipitação de qualquer valor horário. Assim, constata-se que o outono é a estação na qual ocorre chuva horária com volume maior do que 10 mm com mais frequência do que nas demais estações do ano.

Quando os analisa os resultados encontrados para o verão, esta razão é bem superior ao encontrado por Ferreira da Costa *et al.* (1998) na mesma época do ano para o centro de Rondônia. O autor definiu que há 1 hora de chuva forte para cada 28 horas de chuvas leves em área de floresta e 38 horas em áreas de pastagem. Esta diferença se dá, em parte, pelo aquecimento diferenciado provocado pela urbanização da cidade de Porto Velho em comparação com as áreas de pasto e de floresta no centro de Rondônia, uma vez que ambientes urbanos tendem a aumentar a instabilidade dos sistemas atmosféricos e propiciar um acréscimo nos eventos de precipitação (TAVARES & SILVA, 2008).

O comportamento horário das frequências de chuvas intensas durante o outono (figura 6a) apresenta um padrão onde as maiores frequências concentram-se no período da tarde e também no começo da noite (entre 14:00 horas e 19:00 horas) chegando a um valor total de 41,2% na somatória das horas de máximas frequências. Já os horários mais raros, em termos de ocorrência destes eventos, ocorrem no começo e no fim da manhã (08:00 e 12:00 horas) e no meio da noite (entre 21:00 e 22:00 horas).

O inverno, por ser a estação seca, foi o único período em que não ocorreram eventos de precipitações intensas em todas as horas. Observa-se no gráfico (figura 6b) que o período entre as 06:00 e as 08:00 horas, as 11:00 horas, as 19:00 horas, as 22:00 horas e a 00:00 hora são os horários do dia em que não houve nenhum evento de chuva intensa durante os 16 invernos estudados. Já o período entre as 15:00 horas e as 18:00 horas concentra mais da metade (55,6%) dos eventos de precipitação intensa, com máxima frequência as 16:00 horas (22,2%).

Na primavera (figura 6c) observa-se uma grande concentração de frequências no período da tarde e no começo da noite, especialmente entre as 14:00 horas e as 18:00 horas. Neste período concentram 48,5% de todos os eventos de chuva intensa, em comparação com as demais horas do dia nesta estação, com um máximo de frequências as 16:00 horas com 11,1%.

Por fim, no verão (figura 6d), há dois períodos do dia com máximas frequências horárias de precipitação intensa. O primeiro é durante a madrugada, entre 04:00 e 06:00 horas, que ao todo somam 20,6% das frequências horárias totais, com pico máximo as 05:00 horas (7,4%). O segundo período ocorre durante a tarde, entre as 15:00 e as 17:00 horas, que ao todo somam 19,6% do total de frequências horárias, com pico máximo as 16:00 horas (8,5%), a maior frequência entre as demais horas do dia.

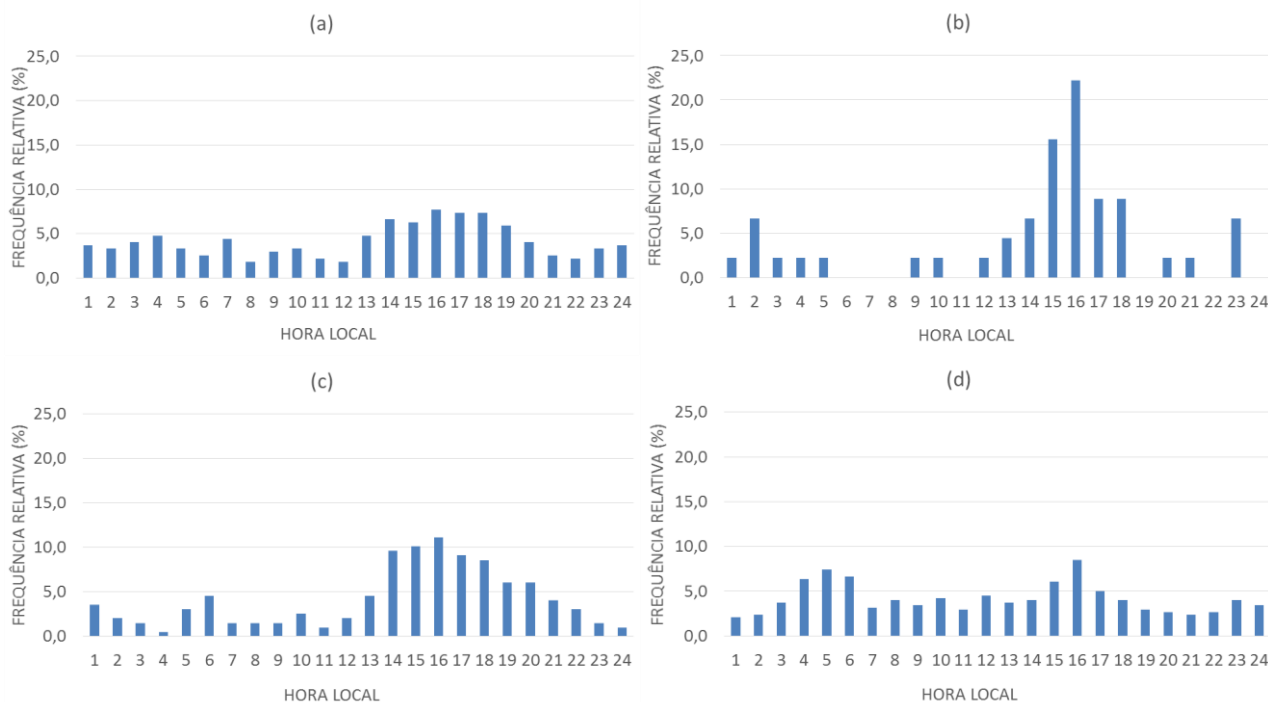


Figura 6. Frequência relativa horária da precipitação intensa (%) ocorridos durante o Outono (a), Inverno (b), Primavera (c) e Verão (d) entre 1998 e 2013, em Porto Velho-RO.

Como pode ser visto, todas as estações do ano possuem maior concentração de chuvas intensas no período da tarde. Isto mostra que as chuvas intensas são provocadas principalmente por convecção local. Hanaoka (2004) ao estudar a frequência horária das chuvas intensas em Porto Velho também observou que as maiores frequências concentravam-se no período da tarde, atribuindo isso a influência das chuvas convectivas originadas localmente. Esta convecção local é seguida de outra convecção profunda, geralmente associado a LI, que provocam precipitações noturnas (RICKENBACH, 2004). Isto pode explicar a razão de haver frequências significativas de eventos intensos em algumas horas do período da noite nas estações de transição. No verão, apesar da maior frequência de eventos intensos

ser a tarde, o fato de ocorrer um segundo máximo (com valor muito próximo ao primeiro durante o período da madrugada) está relacionado a sistemas convectivos de meso e larga escala, cuja sua formação tem ligação com os eventos de fluxo de ventos de oeste em baixos níveis da atmosfera, e são modulados por sistemas meteorológicos, como a ZCAS, predominantes nesta época do ano (TOTA *et al.*, 2000; MARENGO *et al.*, 2004; GAN *et al.* 2009).

A média anual da frequência relativa horária das precipitações intensas está disposta na figura 7. Observa-se que o período da tarde, mais precisamente entre as 14:00 horas e as 18:00 horas, se concentra a maior parte dos eventos intensos ao longo do dia. A média anual total é de 36,9% com o pico máximo de 9,3% de frequência relativa ocorrendo as 16:00 horas. Um segundo pico de frequência de eventos intensos é observado durante a madrugada, entre as 04:00 e as 06:00 horas. Neste período concentra-se 13,4% dos eventos horários, com máximo as 05:00 horas (4,6%). Nota-se também que o segundo máximo de frequências horárias corresponde a aproximadamente a metade do pico máximo de frequências mostrado na figura 6, o que demonstra uma grande concentração destes eventos no período da tarde em comparação aos demais períodos do dia. Em contrapartida, temos que as menores frequências relativas horárias destes eventos intensos ao longo do ano encontram-se no meio da noite (22:00 horas), no começo da madrugada (01:00 e 02:00 horas) e em algumas horas da manhã (08:00, 09:00 e 11:00 horas, que possui a menor frequência horária anual com 2,1%). Este comportamento da precipitação diária é uma resposta aos mesmos mecanismos meteorológicos descritos por Tota *et al* (2000).

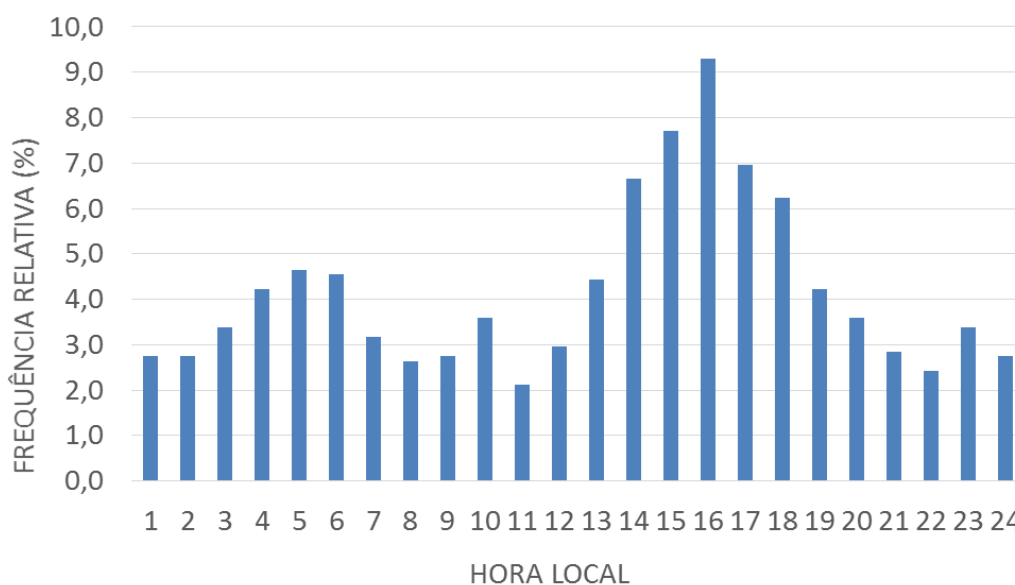


Figura 7. Distribuição anual da frequência relativa horária (%) da precipitação intensa entre 1998 e 2013 em Porto Velho-RO.

Quando comparamos as máximas frequências horárias anuais de todas as precipitações com as chuvas acima de 10 mm.h^{-1} se observa um retardamento dos eventos. A máxima frequência horária de todos os volumes de chuva é as 15:00 horas e a máxima frequência horária dos eventos acima de 10 mm.h^{-1} é as 16:00 horas. Este resultado foi semelhante ao encontrado por Ferreira da Costa *et al.* (1998) ao analisar a frequência horária da precipitação no centro de Rondônia. O mesmo autor supõe que este retardamento se dá ao fato de que a energia envolvida no processo de formação das nuvens faz com que algumas atinjam a maturidade logo no começo da tarde, porém, provocando apenas chuvas leves e mesmo após liberar parte da energia nestas chuvas a convecção continua, fazendo com que as nuvens de maior porte e que provocam volumes elevados de precipitação alcancem a maturidade somente do meio para o fim da tarde.

Fazendo a mesma analogia anterior, porém agora para os máximos valores anuais de frequência relativa, observa-se, no máximo da tarde, um aumento de 2 pontos percentuais no valor das frequências (de 5,7% para 7,7%), já para o segundo máximo, que ocorre durante a madrugada, nota-se uma diminuição na frequência de eventos (de 5% para 4,6%). Este resultado também corrobora com o encontrado por Marengo *et al.* (2004) que associa o aumento dos percentuais da tarde a uma maior frequência de organização de convecção profunda neste período, provocado pelo forte aquecimento da superfície e pelos efeitos de convecção relacionados a ZCAS ou sistemas convectivos de mesoescala, enquanto que a diminuição dos percentuais da madrugada está atribuído ao fato de que neste período do dia a precipitação de origem estratiforme ocorre com maior frequência do que a de origem convectiva, embora eventos convectivos aconteçam esporadicamente, provocando este segundo máximo no gráfico.

4. CONCLUSÕES

Entender a precipitação, tanto em ordem local ou regional, torna-se primordial para as mais diversas finalidades, seja ele em áreas rurais ou urbana, bem como, conhecer o seu ciclo diário também é fundamental. Com isso, baseado no que foi proposto nos objetivos desse artigo, e as discussões atribuídas aos resultados aqui apresentados, enunciam-se as seguintes conclusões:

- O ciclo diurno da frequência relativa anual da precipitação de todos os volumes horários acumulados entre Janeiro de 1998 e Dezembro de 2013 apresenta uma distribuição bimodal, com maiores frequências no período da tarde, mais precisamente as 15:00 horas (5,5%) e também no fim da madrugada, com pico máximo neste período as 05:00 horas (5%).
- O ciclo diurno da frequência relativa anual da precipitação com volume superior a 10 mm.h⁻¹ também apresentou um padrão de distribuição bimodal com os máximos nos mesmos períodos encontrados na análise de todos os volumes horários de precipitação, porém com uma diferença maior. As maiores frequências concentram-se no período da tarde, principalmente entre as 14:00 horas e as 18:00 horas.
- Ao comparar os resultados da frequência horária anual das precipitações brandas e intensas em Porto Velho, as precipitações maiores que 10 mm.h⁻¹ sofrem um ligeiro retardamento, passando das 15:00 horas para as 16:00 horas, além da intensificação na frequência relativa horária (de 5,5% para 9,3%). O retardamento das máximas frequências se dá pela demora no processo de maturação da nuvem, que inicialmente provoca chuvas brandas e em seguida provoca a chuva intensa. Já o aumento da frequência relativa está relacionado a maior facilidade que a convecção profunda tem para se organizar no período da tarde do que nos demais períodos do dia.
- Durante o outono, o inverno e a primavera, as chuvas de qualquer volume horário caem com maior frequência no período da tarde, principalmente entre as 15:00 e as 16:00 horas, mostrando que a regência do ciclo diário da precipitação nestas estações é feita pela convecção local gerada pelo máximo aquecimento da superfície, que ocorre no período da tarde. Já no verão as maiores frequências de chuva são entre a madrugada e as primeiras horas da manhã, com um segundo máximo no período da tarde. Diferente das outras estações, apesar de também haver convecção local, o principal regente do ciclo diário nesta época do ano são os sistemas de meso e larga escala.
- Os máximos da frequência relativa sazonal das precipitações horárias intensas ocorreram as 16:00 horas em todas as estações do ano, reforçando a ideia de que as precipitações intensas são provocadas principalmente por convecção profunda derivado do forte aquecimento da superfície. Características peculiares da variação diária dos eventos intensos de algumas estações do ano foram identificadas, como no verão, onde observou-se um segundo pico significativo de frequências relativas de eventos intensos, que foi durante a madrugada (05:00 horas), e no inverno, onde os eventos intensos ocorrem em horários específicos, concentrando-se principalmente no período da tarde.
- Houve também um deslocamento das máximas frequências relativas das 15:00 horas para as 16:00 horas e um incremento no valor percentual na análise das máximas frequências relativas sazonais dos volumes maiores que 10 mm.h⁻¹. Apenas no verão, ao fazer a comparação entre o ciclo diário de todos os eventos com os eventos intensos, o deslocamento no pico do gráfico aconteceu por período, passando da madrugada, no caso de todos os

eventos, para a tarde, nas precipitações intensas. Isso mostra que a nebulosidade organizada por sistemas de meso e larga escala que provocam a maioria dos eventos de chuva durante a madrugada não provocam chuva intensa com a mesma frequência que os mecanismos atmosféricos do período da tarde.

Com os resultados alcançados nesta pesquisa, espera-se que os mesmos sejam de grande valia na caracterização e compreensão dos eventos de precipitação que ocorrem na cidade de Porto Velho, assim como também no apoio a tomada de decisão dos gestores municipais a respeito das obras de infraestrutura e saneamento urbano, além da sociedade em geral, no que tange a escolha do melhor momento para realizar qualquer tipo de atividade ao ar livre.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte integrante da dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA) da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e contou com a colaboração do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), instituições de reconhecida relevância no cenário regional e nacional, na qual os autores agradecem pela infraestrutura cedida e pelos dados repassados, itens essenciais para a elaboração desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDREAE, M.O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A.A.; FRANK, G.P.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F. Smoking Rain Clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p.1337-1342, 2004.

ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; PAIXÃO, M.; DE LUCCA, S.; OLIVEIRA, P.H.; LARA, L.L.; WIEDEMANN, K.T.; ANDREAE, M.O.; HOLBEN, B.; SCHAFER, J.; CORREIA, A.L.; PAULIQUEVIS, T.M. Aerosol Particles in Amazonia: Their Composition, Role in the Radiation Balance, Cloud Formation and Nutrient Cycles. In: M. KELLER, M. BUSTAMANTE, J. GASH, P. SILVA DIAS (eds). **Amazonia and Global Changes**, AGU, Washington, D.C., p.233-250, 2009.

ASNANI, G.C. **Tropical Meteorology**. India: NoblePrinters PVT. Ltd. Pune. 2v. 1202p., 1993.

BEZERRA, R.B.; DANTAS, R.T.; TRINDADE, A.G. Caracterização Temporal da Precipitação Pluvial do Município de Porto Velho/RO no Período de 1945 a 2003. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia-MG, v.22, n.3, p.609-623, 2010.

FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J.R.P.; FISCH, G.; SOUZA, S.S.; NOBRE, C.A. Variabilidade Diária da Precipitação em Regiões de Floresta e Pastagem na Amazônia. **Acta Amazonica**, v.28(4), p.395-408, 1998.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitations Distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, n. 5(6), p. 36-45, 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Clima da Amazônia. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, n. Especial 10 anos, p.24-41, 1996.

FISCH, G.; VENDRAME, I.F.; HANAOKA, P.C.M. Variabilidade Espacial da Chuva durante o Experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37(4), p. 583-590, 2007.

GAN, M.; RODRIGUES, L.R.; RAO, V.B. Monção na América do Sul. In: Cavalcanti, I.F.A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

HANAOKA, P.C.M. **Variabilidade Espacial e Temporal da Chuva Durante os Experimentos LBA/TRMM 1999 e LBA/RACCI 2002 na Amazônia**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo. 58p., 2004.

HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. An Investigation of the Annual Cycle of Convective Activity over the Tropical Americas. **Journal of Climate**. v. 2(11), p. 1388-1403, 1989.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro-RJ, IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br. 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília-DF, INMET, 465p., 2009.

MARENGO, J.A. Interannual Variability of Deep Convection in the Tropical South America Sector as Deduced from ISCCP C2 data. **International Journal of Climatology**, v. 15(9), p. 995-1010, 1995.

MARENGO, J.A.; FISCH, G.; MORALES, C.; VENDRAME, I.; DIAS, P.C. Diurnal Variability of Rainfall in Southwest Amazonia during the LBA-TRMM Field Campaign of the Austral Summer of 1999. **Acta Amazônica**. v. 34, n. 4, p.593-603, 2004.

MELLO, M.H.A.; ARRUDA, H.V.; ORTOLANI, A.A. Probabilidade de Ocorrência de Totais Pluviais Máximos Horários, em Campinas-São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n. 1-2, p. 59-67, 1994.

MOLION, L.C.B. Amazonia Rainfall and its Variability. In: Bonnel, M. *et al.* **Hydrology and Water Manegement in the Humid Tropics**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1993.

MOLION, L.C.B. Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2(1), p.107-117, 1987.

MOLION, L.C.B.; DALLAROSA, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: São os Dados Confiáveis? **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5(3), p.40-42, 1990.

NECHET, D.; BARROS, E.S. Variabilidade Diurna de Precipitação e de Trovoadas em Porto Velho, RO. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 10, Brasília-DF. **Anais...** Brasília, SBMET, CD ROM, 1998.

RICKENBACH, T.M.; FERREIRA, R.N.; HALVERSON, J.B.; HERDIES, D.L.; SILVA DIAS, M.A.F. Modulation of Convection in the Southwestern Amazon Basin by Extratropical Stationary Fronts. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, n. D20, 8040, doi: 10.1029/2001JD000263, 2002.

RICKENBACH, T.M. Nocturnal Cloud Systems and the Diurnal Variation of Clouds and Rainfall in Southwestern Amazonia. **Monthly Weather Review**. v. 132, n. 5, p.1201-1219, 2004.

SALATI, E.; DALL'OLLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J. Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study. **WaterResources Res.**, v. 15, p. 1250-1258, 1979.

SANTOS E SILVA, C.M. Ciclo Diário de Precipitação como Função de Eventos Intensos no Sudeste da Amazônia. **Revista da Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal-SP, v. 7, n. 2, p. 274-283, abr/jun. 2010.

SANTOS E SILVA, C.M.; DE FREITAS, S.R.; GIELOW, R. Ciclo Diário da Precipitação Estimada através de um Radar Banda S e pelo Algoritmo 3B42_V6 do Projeto TRMM durante a Estação Chuvosa de 1999 no Sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.95-108, 2011.

SANTOS NETO, L.A.; MANIESI, V.; CHECCHIA, T.E. Variabilidade Horária da Precipitação em Porto Velho-RO – Uma Análise Sazonal entre Mar/2011 e Fev/2012. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 17, Gramado-RS. **Anais...** Gramado: SBMET, CD-ROM, 2012.

SENTELHAS, P.C.; CRUCIANI, D.E.; PEREIRA, A.S.; VILLA NOVA, N.A. Distribuição Horária de Chuvas Intensas de Curta Duração: Um Subsídio ao Dimensionamento de Projetos de Drenagem Superficial. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 45-52, 1998.

SILVA DIAS, M.A.F.; COHEN, J.C.P.; GANDÚ, A.W. Interações entre Nuvens, Chuvas e a Biosfera na Amazônia. **Acta Amazônica**, v.35 (2), p.215-222, 2005.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 580p. 1972.

TAVARES, A.C.; SILVA, A.C.F. Urbanização, Chuvas de Verão e Inundações: Uma Análise Episódica. *CLIMEP – Climatologia e Estudos de Paisagem*, Rio Claro-SP, v.3, n.1, p.4-18, 2008.

TOTA, J.; FISCH, G.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P.J.; GARSTANG, M.; HEITZ, R.; SIGLER, J. Análise da Variabilidade Diária da Precipitação em Área de Pastagem para a Época Chuvosa de 1999 – Projeto TRMM/LBA. **Acta Amazonica**, v. 30(4), p. 29-639, 2000.

VITORINO, M.I.; DA SILVA, M.M.; DA SILVA, R.P. Eventos de Precipitação Durante a Estação Seca no Estado do Amazonas. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 14, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: SBMET, CD-ROM, 2006.